

CAPÍTULO 6

Equipamentos para a Manufatura e Montagem Flexível

“A flexibilidade é um dos requisitos da qualidade. E alguns equipamentos podem ser utilizados para atingir este objetivo”

INTRODUÇÃO

- ☀ Para muitos fabricantes de bens de consumo → manufatura e a montagem flexível → único meio para competir eficientemente no mercado com **variedade de produtos** ↑ → os consumidores têm buscado cada vez mais variedades de produtos feitos sob medida para as suas necessidades em vez de produtos produzidos em massa.
- ☀ Tais produtos variados não podem ser mais produzidos através dos métodos tradicionais de **produção em massa**, e neste caso sistemas flexíveis de produção são necessários → **Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS) e Montagem (FAS)**

INTRODUÇÃO

- ☀ FMS e FAS → várias **máquinas programáveis**, onde, de acordo com a demanda para fabricar um dado produto, são interligadas a uma unidade de produção com o auxílio de **programas de planejamento e de controle**.
- ☀ Equipamentos de **manufatura e montagem**, em conjunto com equipamentos de **transporte e manuseio**, formam os ingredientes para o suporte à produção integrada → hoje, tais equipamentos caracterizam-se pelo princípio do **comando numérico**.

INTRODUÇÃO

- ☀ Componentes importantes de uma máquina NC:
 - controle por computador,
 - acionamentos,
 - sistemas de medição.
- ☀ Parâmetros tais como **ferramentas, posições, trajetórias, velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, forças e momentos** → ajustados automaticamente usando-se o controle por computador.

CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC

- ✦ Máquina NC → elemento básico necessário para a produção flexível.
- ✦ “NC” → máquina que é controlada por números obtidos a partir da descrição da peça → permite uma **adaptação flexível a peças diferentes**, particularmente na **produção em pequenos e médios lotes**.
- ✦ Instruções geométricas e tecnológicas para a manufatura de uma peça → codificadas em termos de **números** e armazenados na **memória** do computador.

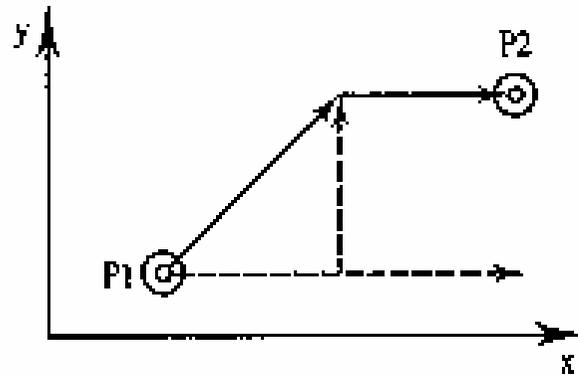
CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC

- ☀ “Programação NC” → geração de dados para a **usinagem automática** de uma peça → produz uma série de **registros NC** para uma peça → cada registro contém dados dimensionais para gerar uma peça e informações para a operação da máquina.
- ☀ Informações de manufatura são alimentadas ao sistema NC → dividem-se em **dados geométricos** para a ferramenta ou peça (**G, X, Y, ...**) e **dados tecnológicos** para o controle da máquina (**F, S, T, M**).

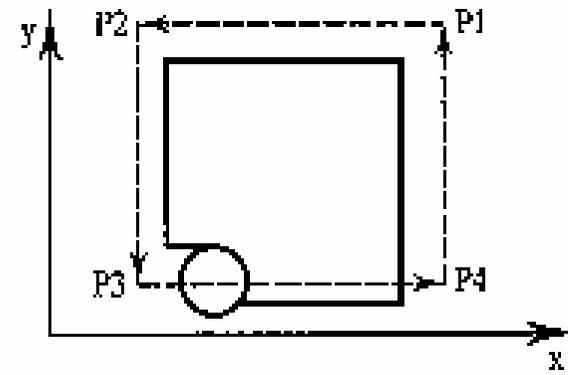
CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC

- ☀ Geometria → gerada usando-se **3 tipos de controle: ponto-a-ponto, linha reta e trajetória contínua** (ver figura)
- ☀ Instruções para o **posicionamento individual dos eixos** → geradas por um **interpolador** e enviados através de um **amplificador** para um **atuador**.

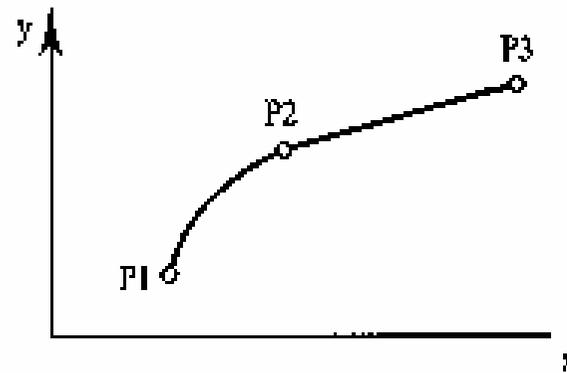
CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC



Controle ponto a ponto



Controle em linha reta



Controle de trajetória contínua

Três tipos de controle de posição para máquinas-ferramenta

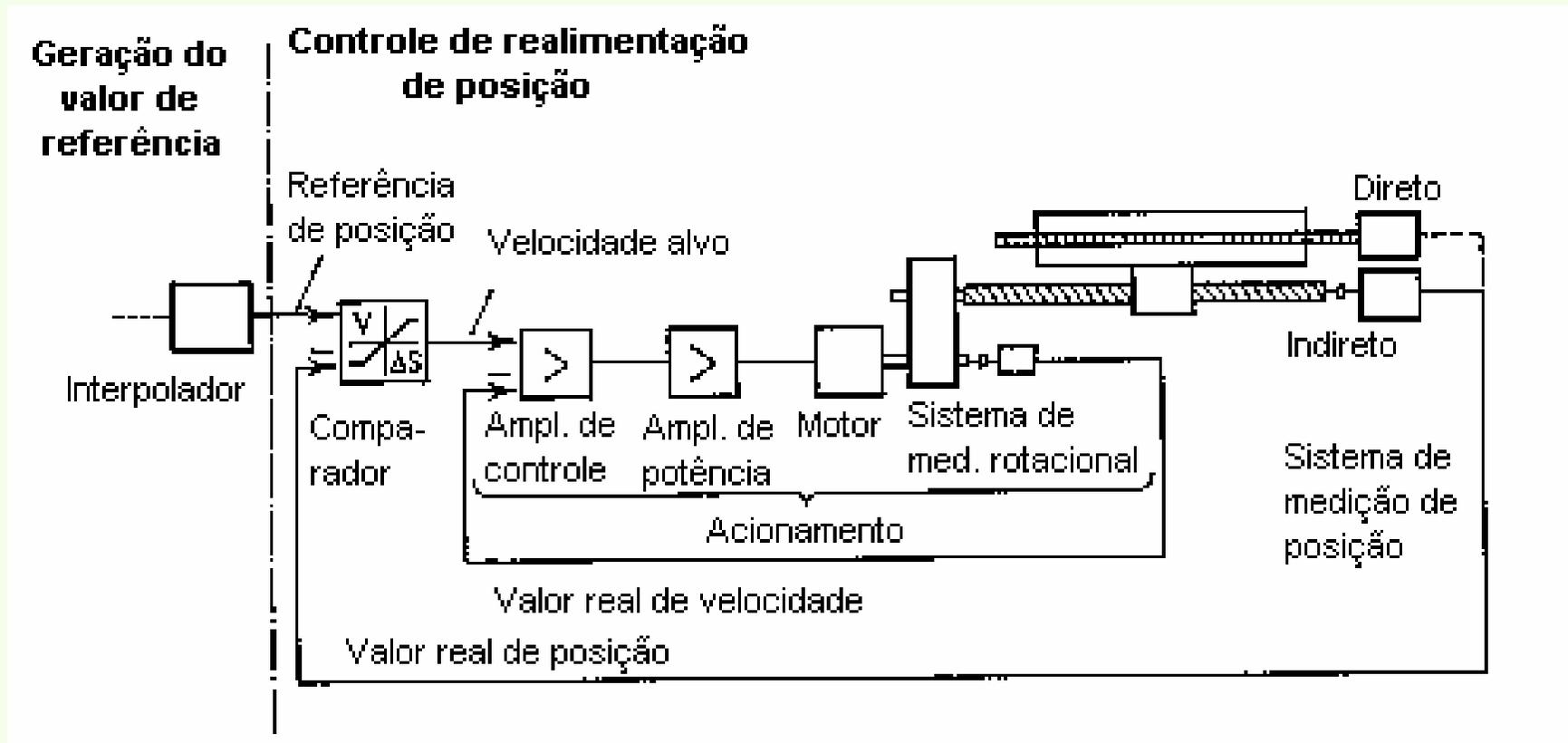
CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC

- ☀ Controle contínuo da trajetória → exs. de interp.: **linear, circular, parabólica, helicoidal e cúbica.**
- ☀ Controle tecnológico → influencia vários parâmetros tecnológicos tais como o **acionamento da árvore, execução dos avanços, atuação dos equipamentos de mudança de ferramenta, suprimento de fluido de corte, etc.**
- ☀ Nível de processamento NC foi implementado originalmente num circuito com **cabeamento fixo e relés.**
- ☀ Depois → componentes aritméticos sob a forma de algoritmos de processamento foram introduzidos no **comando numérico** (chama-se CNC).

CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC

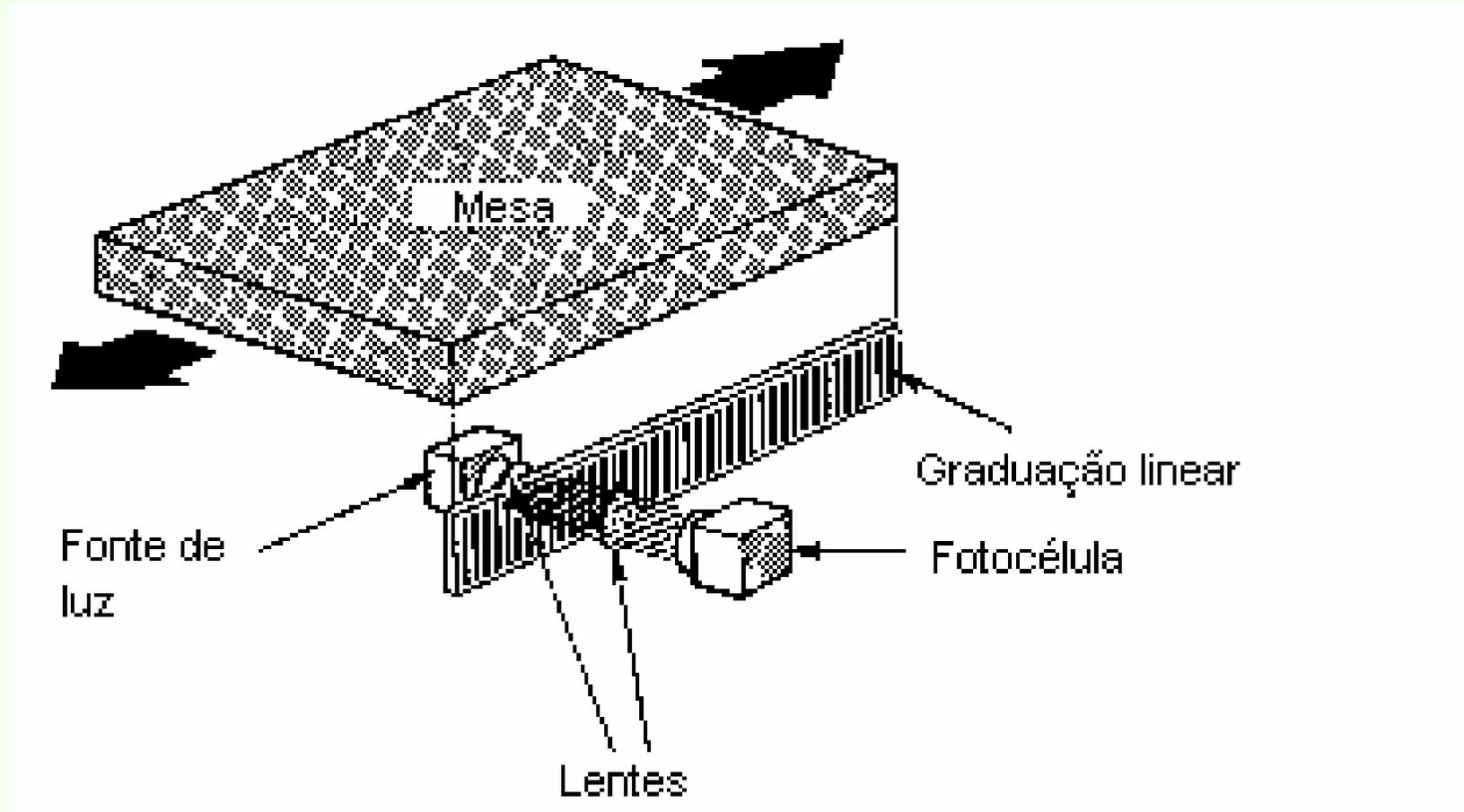
- ☀ Projeto de máquinas CNC → deve seguir algumas exigências:
 - ☀ Exigências gerais (válidas não somente para máquinas CNC): elevada rigidez estática e dinâmica de todos os elementos da máquina, e baixa distorção térmica.
 - ☀ Exigências para minimizar os efeitos das forças: forças de usinagem e soldagem.
 - ☀ Algumas exigências adicionais para os elementos mecânicos:
 - ☀ Baixos momentos de inércia nos elementos da máquina que serão acelerados e desacelerados;
 - ☀ Elevada rigidez, de forma que as frequências mecânicas naturais sejam suficientemente maiores do que a frequência natural do acionamento;
 - ☀ Elevado amortecimento das forças.

CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC



*Malha de controle de posição de uma máquina-ferramenta
(malha fechada de controle da velocidade resulta num melhor amortecimento)*

CONTROLE NUMÉRICO E CARACTERÍSTICAS DE PROJETO DE MÁQUINAS NC



Exemplo de utilização de transdutores no controle de posição de máquinas CNC

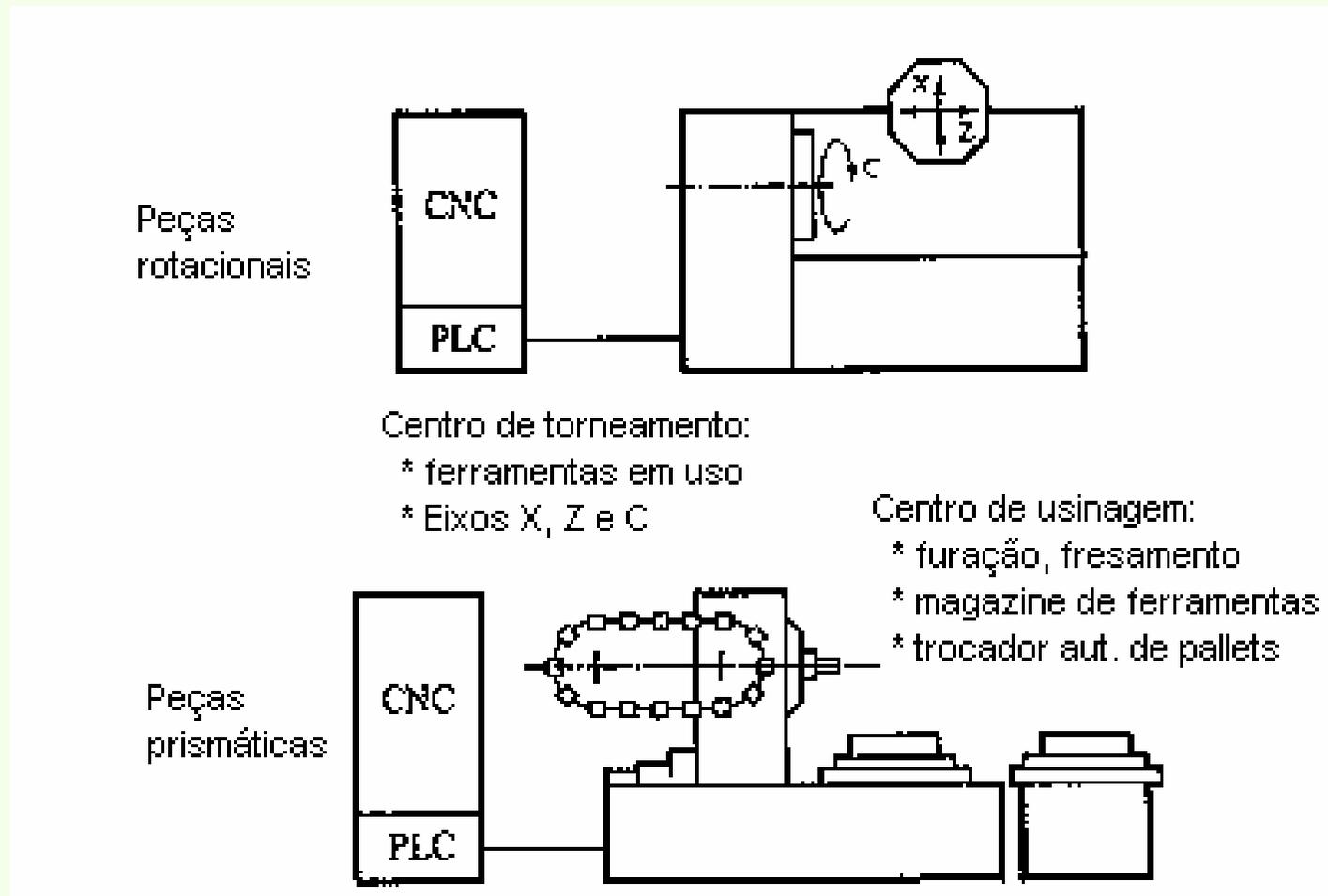
EQUIPAMENTOS PARA A MANUFATURA FLEXÍVEL

- ☀ Equipamentos para a manufatura flexível → usados para a **usinagem automática de peças diferentes**.
- ☀ Permitem uma **adaptação rápida a novas tarefas de usinagem**.
- ☀ Razões para a manufatura flexível:
 - tamanhos de lote ↓;
 - tempos de produção ↓;
 - estoque ↓;
 - datas de entrega ↓;
 - disponibilidade e utilização dos equipamentos ↑.
- ☀ Exigências técnicas e econômicas → manufatura flexível requer um planejamento detalhado e um suporte organizacional efetivo para a sua operação na fábrica.

CENTROS DE USINAGEM

- ☀ Centro de usinagem CNC → capaz de efetuar várias operações de usinagem e de executar mudanças de ferramentas de um **magazine** ou de outro dispositivo de armazenamento, de acordo com um programa.
- ☀ Método de manufatura → por **lote** → mudanças no lote normalmente implicam numa mudança manual das ferramentas.
- ☀ 2 tipos de centros de usinagem são usados → um para **peças rotacionais**, e outro para **peças prismáticas** (ver figura) → ambos usam **controladores CNC e CLPs**.

CENTROS DE USINAGEM

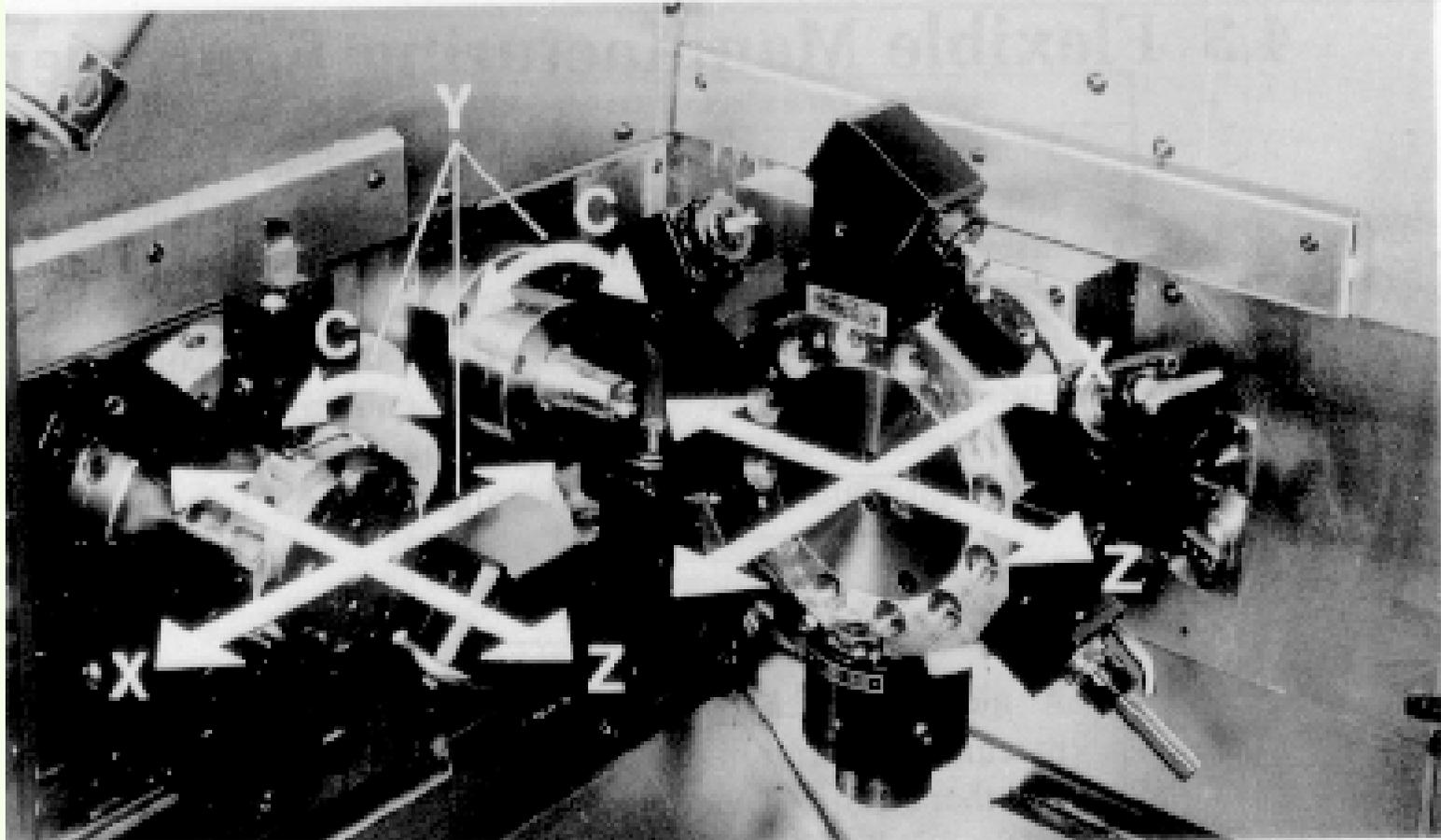


Centros de usinagem, os elementos básicos de uma célula flexível de manufatura

CENTROS DE USINAGEM

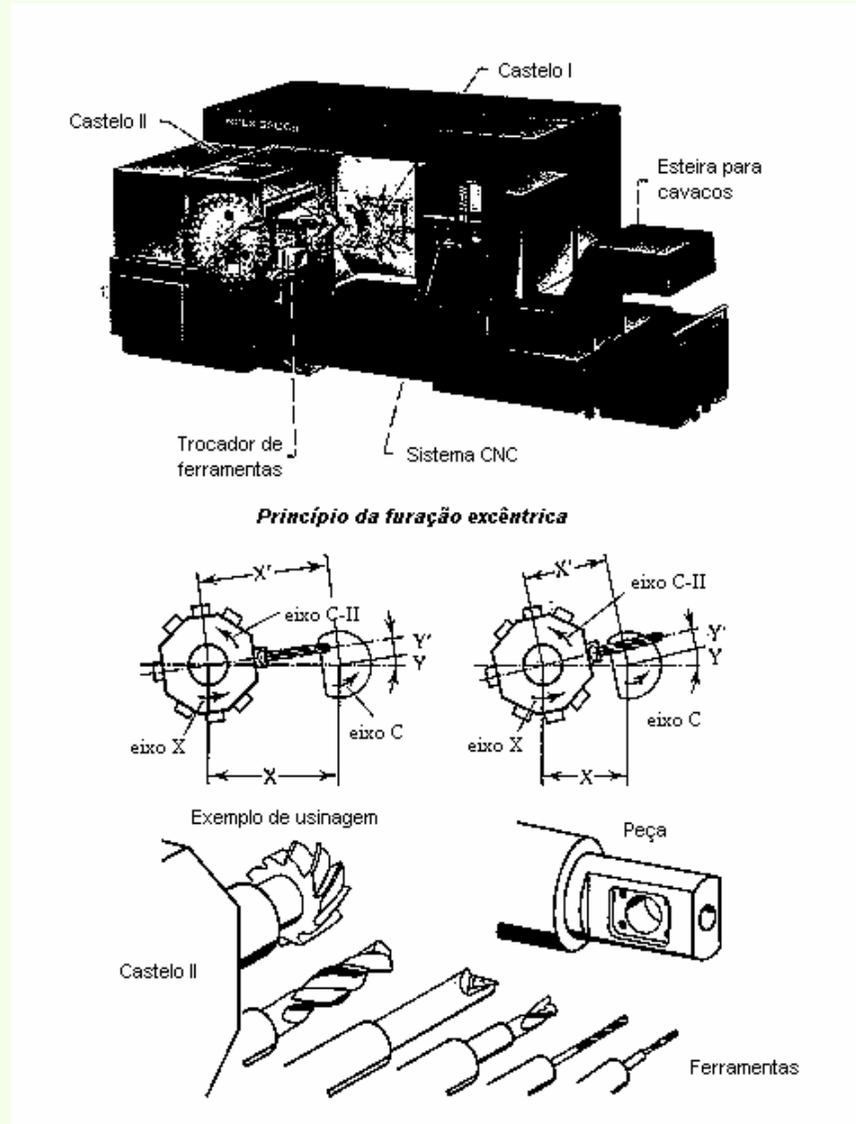
- ☀ Centros de torneamento → equipados com um ou mais **castelos** para o armazenamento de **ferramentas**.
- ☀ Castelos → menos comuns em centros de mandrilamento e fresamento, onde normalmente as ferramentas são trocadas de um magazine na **árvore principal**.
- ☀ Próxima figura → espaço de trabalho de um **centro de torneamento CNC** com mudança automática da ferramenta para um **castelo múltiplo**, e com a facilidade do posicionamento e movimento da árvore principal através de comando numérico.

CENTROS DE USINAGEM



Eixos num centro de torneamento CNC

CENTROS DE USINAGEM



Centro de torneamento Index GSC 65 com eixo Y e trocador de ferramentas

CENTROS DE USINAGEM

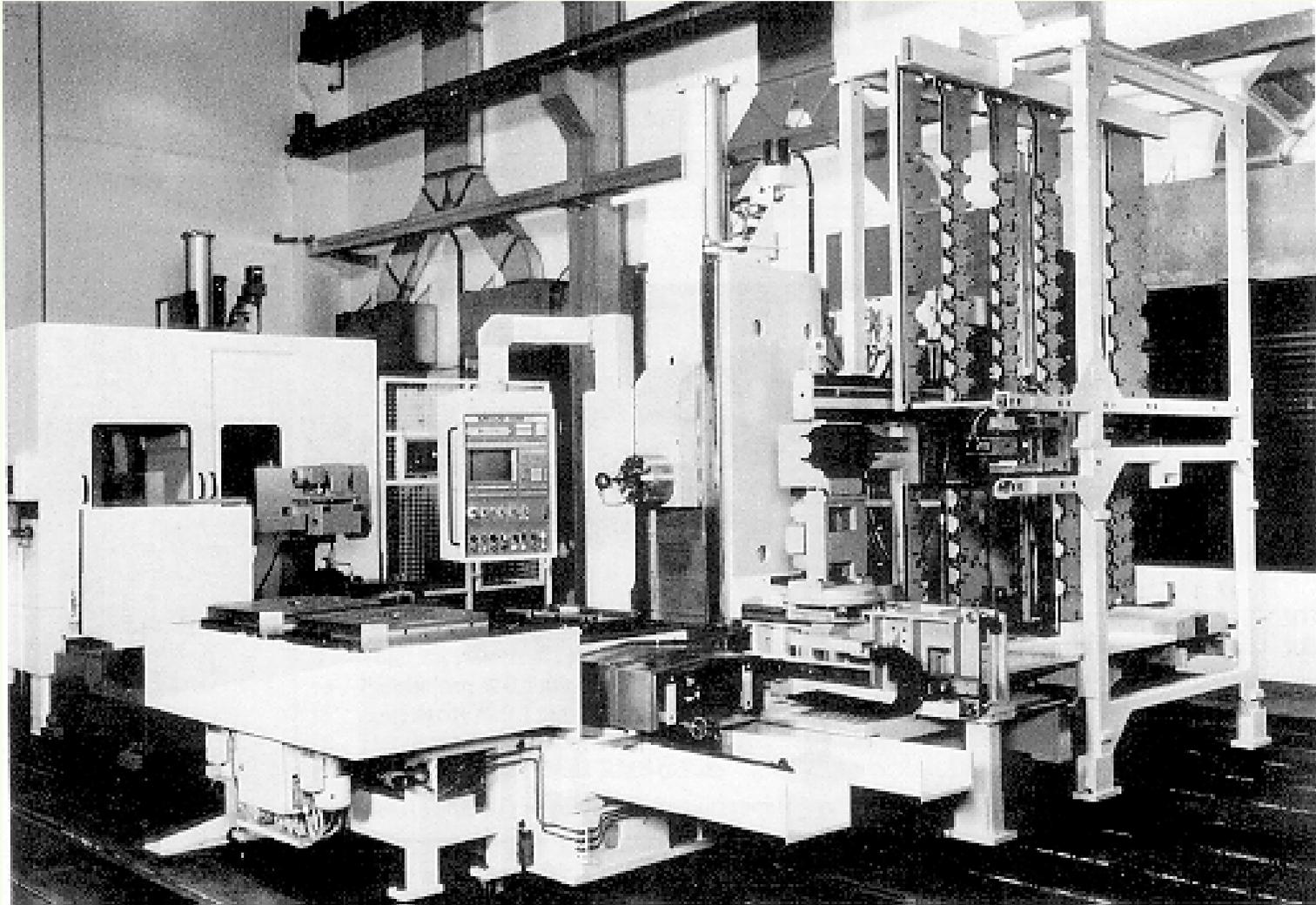


Peças complexas fabricadas num centro de usinagem

CENTROS DE USINAGEM

- ☀ Centro de usinagem para peças prismáticas → em muitos casos, além do **magazine** de ferramentas, também possui a facilidade de mudança automática de **pallet** (ver figura).
- ☀ Peças são fixadas a um pallet, no qual elas podem ser transportadas ao longo do sistema de manufatura.
- ☀ O **pallet** → usado quase como uma **mesa** de máquina em cada centro de usinagem.
- ☀ Durante a usinagem da peça → próxima peça é fixada a um novo pallet e preparada para a usinagem → **tempos mortos são reduzidos ou eliminados**, pois a fixação e a usinagem são executadas em paralelo.

CENTROS DE USINAGEM



*Centro de usinagem com um magazine para 103 ferramentas,
trocador de pallets e esteira para cavacos*

CENTROS DE USINAGEM

- ☀ Centros de usinagem → os mais comuns em FMSs.
- ☀ Entretanto → centros para **puncionamento, dobramento e corte de chapas** têm sido projetados.
- ☀ Deve-se mencionar também os centros para **medição**, nos quais pode-se efetuar uma mudança automática de **peças**, e também de **apalpadores**.

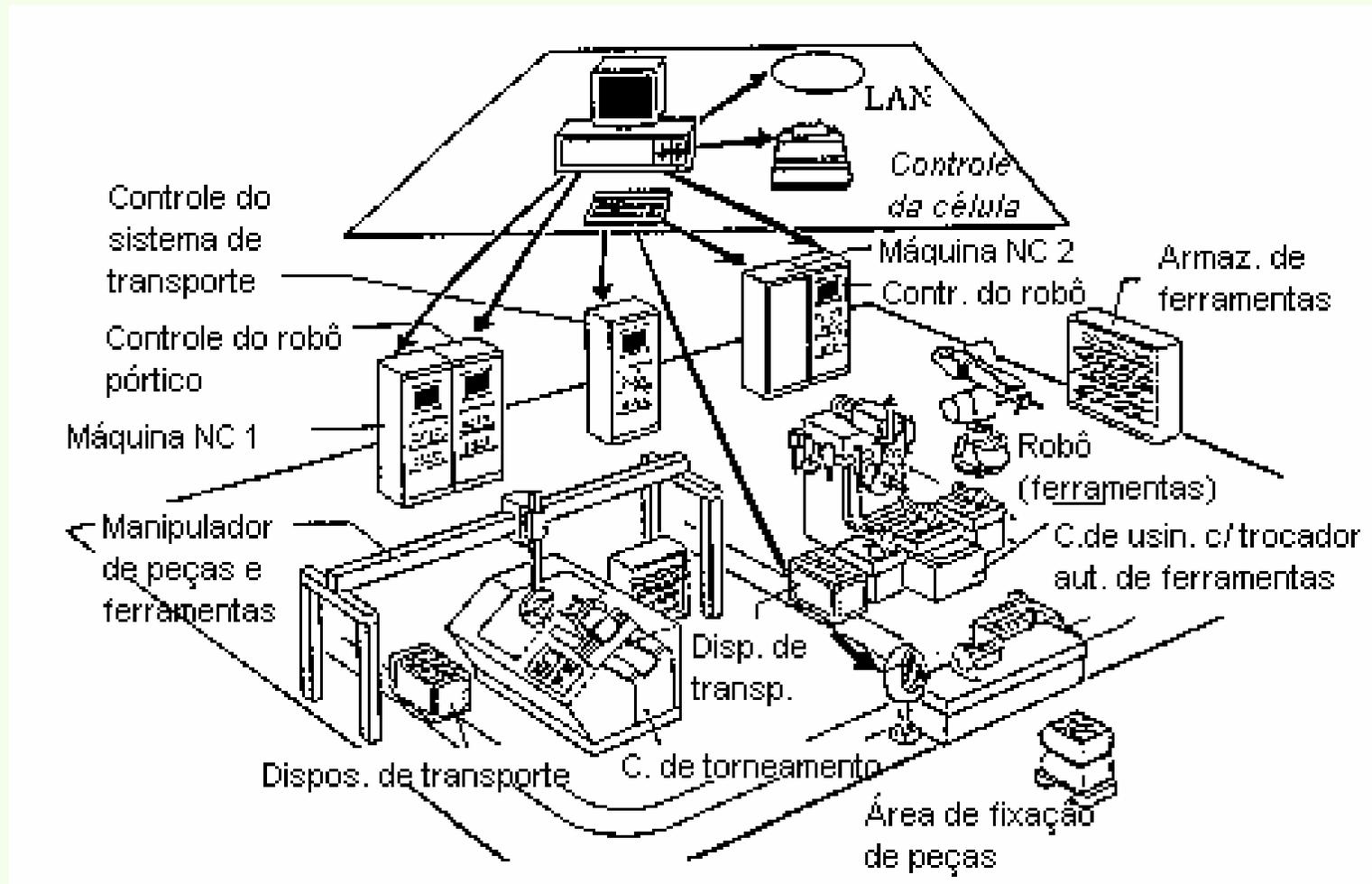
CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

- ☀ Uma FMC → **unidade organizacional** → sistema com uma ou mais máquinas, normalmente CNC.
- ☀ Funções como **manuseio** de peças e ferramentas, em conjunto com tarefas de **medição** e **monitoramento** do processo, são **automatizadas** numa célula.
- ☀ FMCs → facilitam a manufatura de **pequenos lotes** com **poucos operadores** → com o manuseio e armazenamento automático de ferramentas e peças, é possível o seu uso em **turnos extras, sem operadores**.
- ☀ Mudanças nos lotes → nem sempre necessitam de uma mudança de ferramentas, sendo que uma **mudança simples do programa NC** pode ser tudo o que é necessário.

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

- ✦ Próxima figura → **célula de manufatura** com 2 máquinas (um centro de usinagem e um torno) interligados através de um sistema para **transporte de materiais** → nível de controle orientado para a máquina contendo **controles NC e do robô** → nível é supervisionado pelo **sistema de controle da célula**.
- ✦ Transporte de materiais e de ferramentas → executado por **veículos**, e o manuseio através de **robôs**.

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

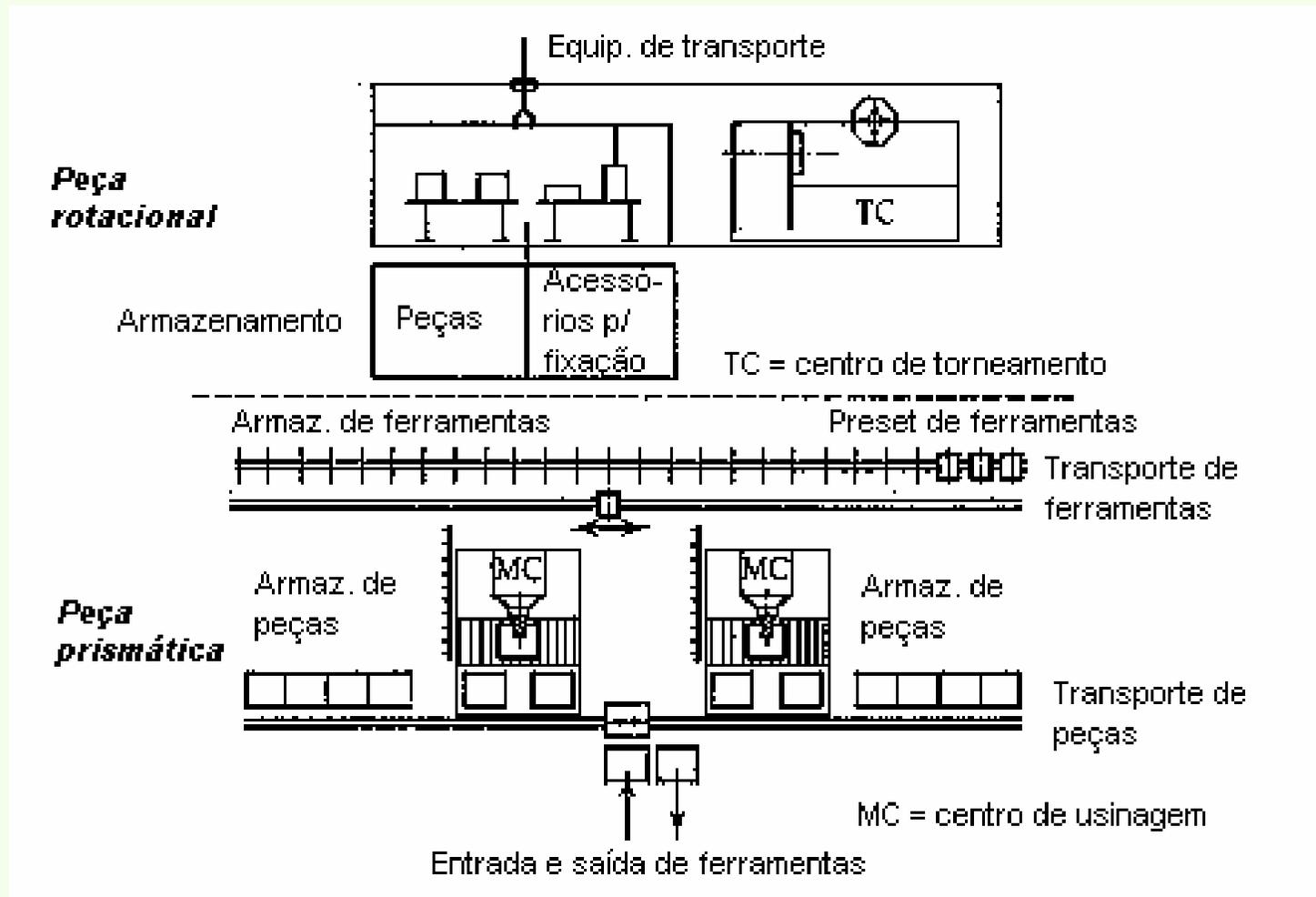


Estrutura de uma célula flexível de manufatura

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

- ☀ Algumas vezes → células consistem de máquinas substitutas similares:
 - reduz significativamente o risco de uma parada total em situações de gargalo;
 - utilização de cada máquina pode ser mantida elevada.
- ☀ Próxima figura → **célula de torneamento** e uma **célula de mandrilamento-fresamento**.
 - Primeira → 1 máquina apenas;
 - Segunda → 2 máquinas (2 centros de usinagem).

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)



Células flexíveis de manufatura

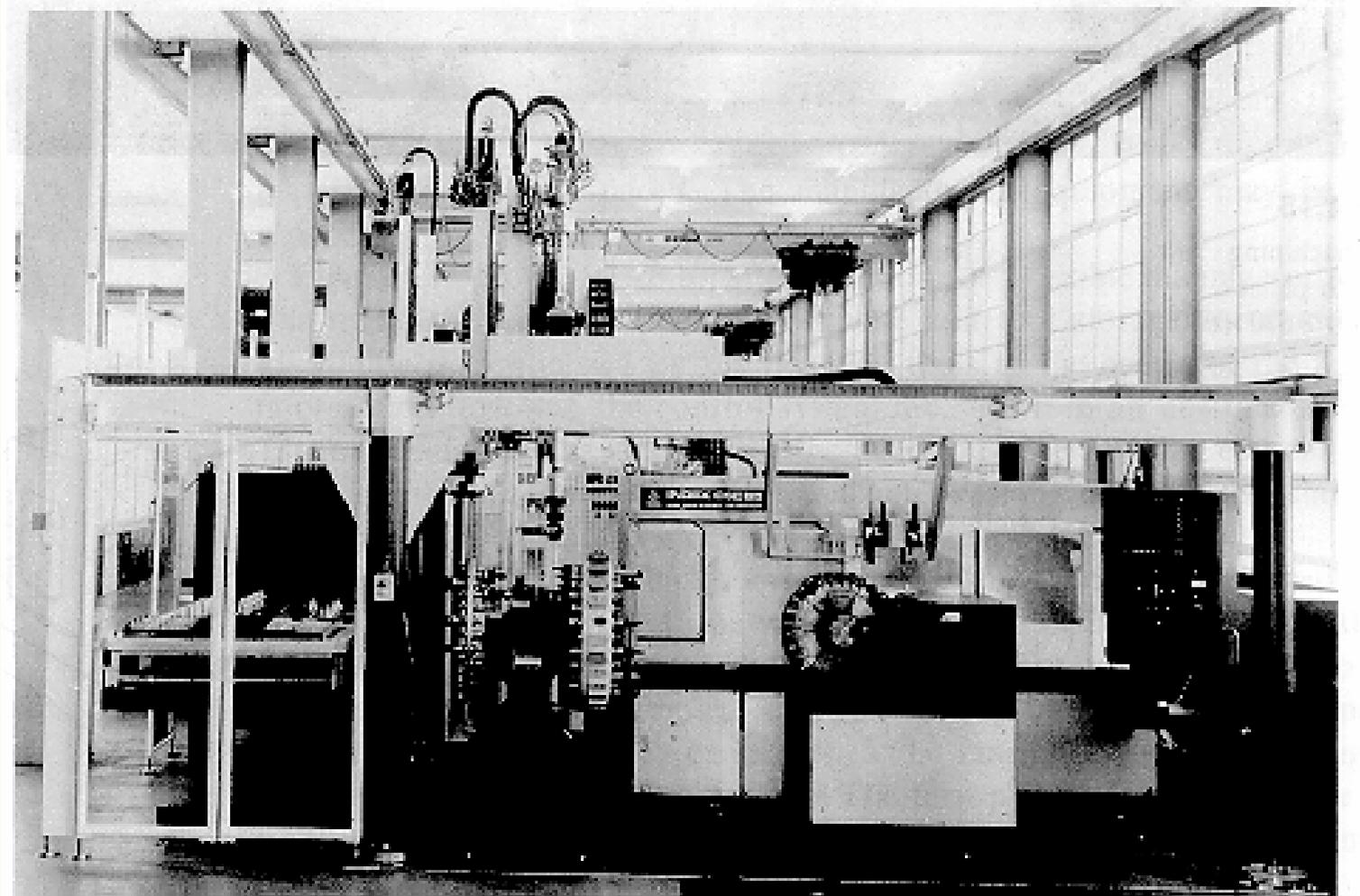
CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

- Método de **manuseio** e interligação das máquinas para peças **rotacionais** ≠ daquele para peças **prismáticas**:
 - Prismáticas → manuseadas por **pallets** que representam uma interface mecânica específica.
 - Rotacionais → transportadas diretamente por sistemas de **manipuladores**.
- Torneamento → dispositivos de manuseio do tipo **pórtico** substituíram as soluções originais com robôs usados para manuseio das peças, ferramentas e até para dispositivos de fixação.
- Mudança de ferramenta é efetuada através do armazenamento no **castelo**.
- Ferramentas necessárias devem estar disponíveis no castelo (para manter os tempos de mudança ↓).
- Para elementos que são manuseados de formas diferentes (peças, ferramentas, dispositivos de fixação), os **efetuadores** devem ser trocados automaticamente.

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

- ✦ Próxima figura → **célula de torneamento** com um sistema de manuseio do tipo **pórtico** +vários **efetadores** que permitem uma mudança automática de peças brutas e acabadas, ferramentas e dispositivos de fixação.

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

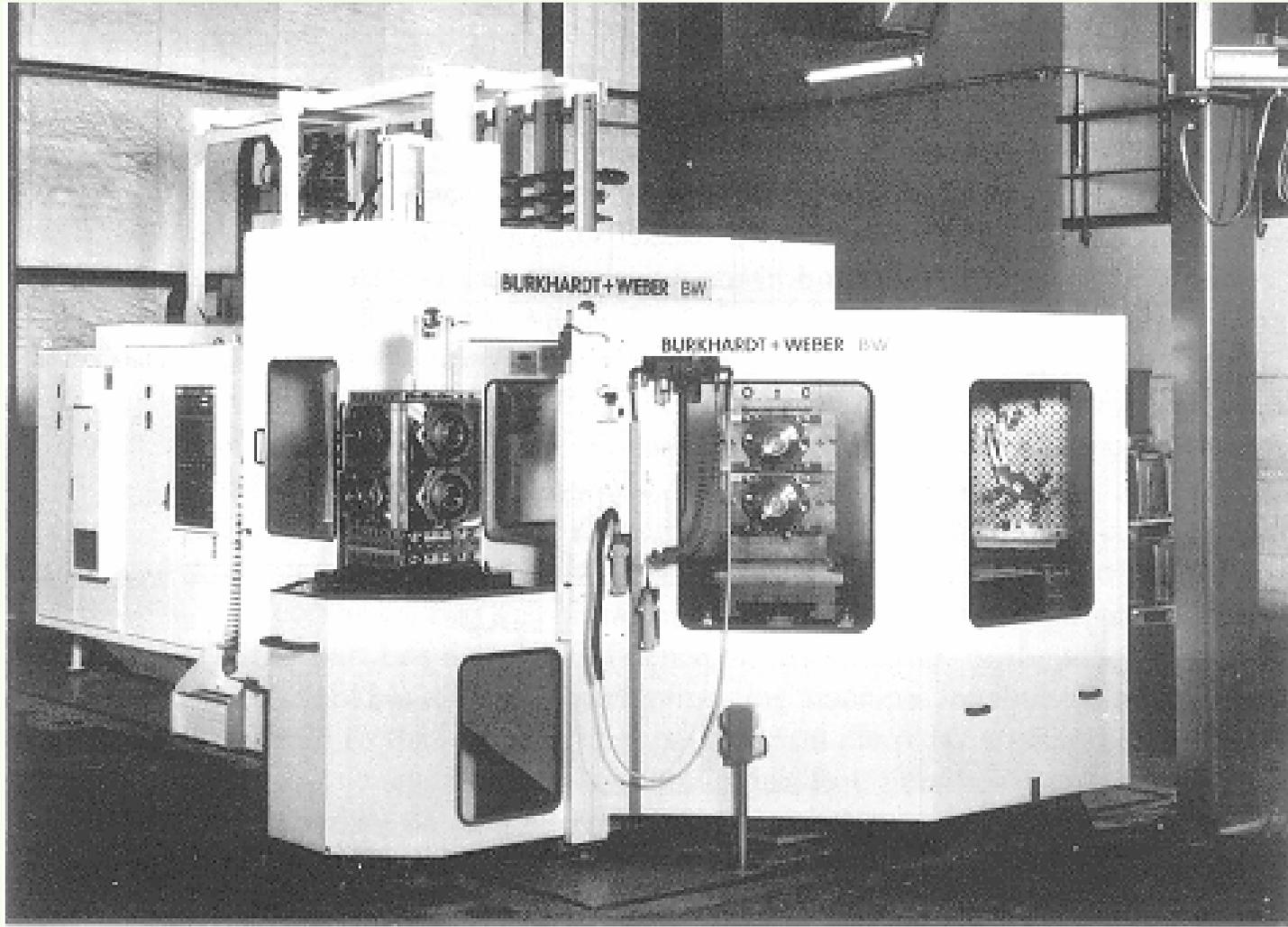


Célula flexível de torneamento Index GSC 65 com um manipulador de material do tipo pórtico

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

- ☀ Células de mandrilamento e fresamento → possuem frequentemente um *buffer de pallets* e um grande **magazine** de ferramentas (ver figura → 8 pallets + área de fixação) → ajuda a satisfazer as exigências de **longos períodos de serviço sem interrupções** (p.ex. durante turnos extras).

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

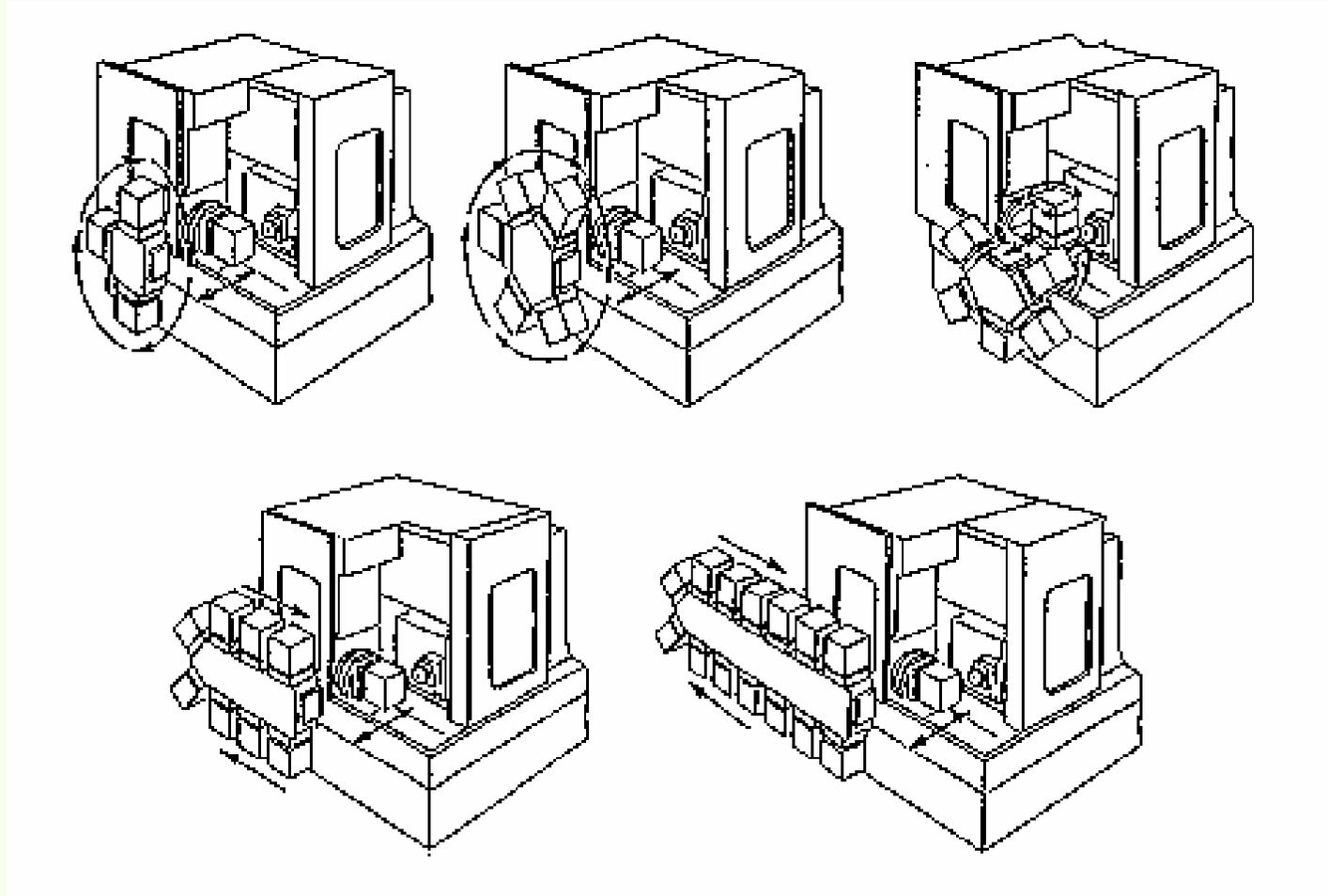


Centro de usinagem MC50 com armazenamento de pallets

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

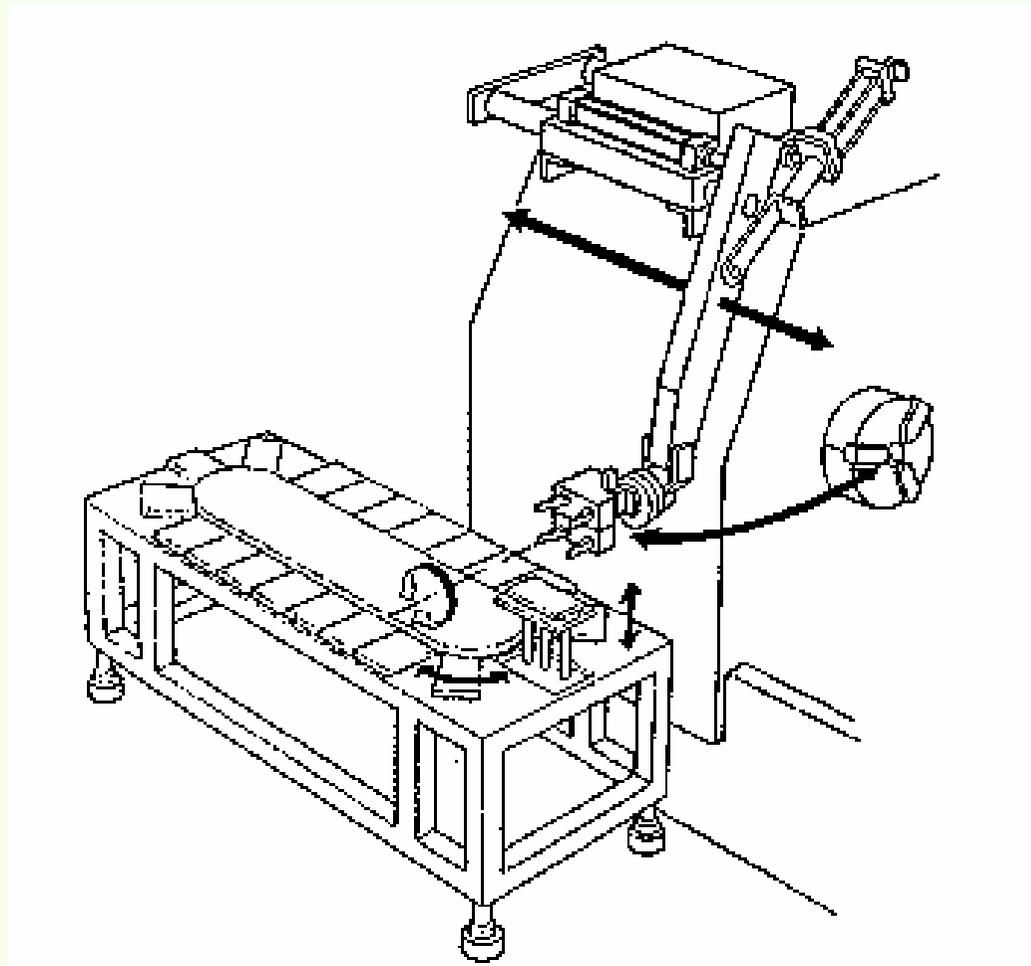
- ✦ **Próxima figura → célula de usinagem para pequenas peças.**
 - ✦ Várias extensões modulares de armazenamento permitem a usinagem de um número diferente de peças, e normalmente nessas situações há a necessidade de uma grande **diversidade de ferramentas**.
 - ✦ Um dispositivo de fixação pode ser posicionado horizontalmente ou verticalmente na área de trabalho.
 - ✦ É importante um **controle e descarte eficiente dos cavacos**.

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)



Uma célula flexível de manufatura com um armazenamento extensível para peças

CÉLULAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMCs”)

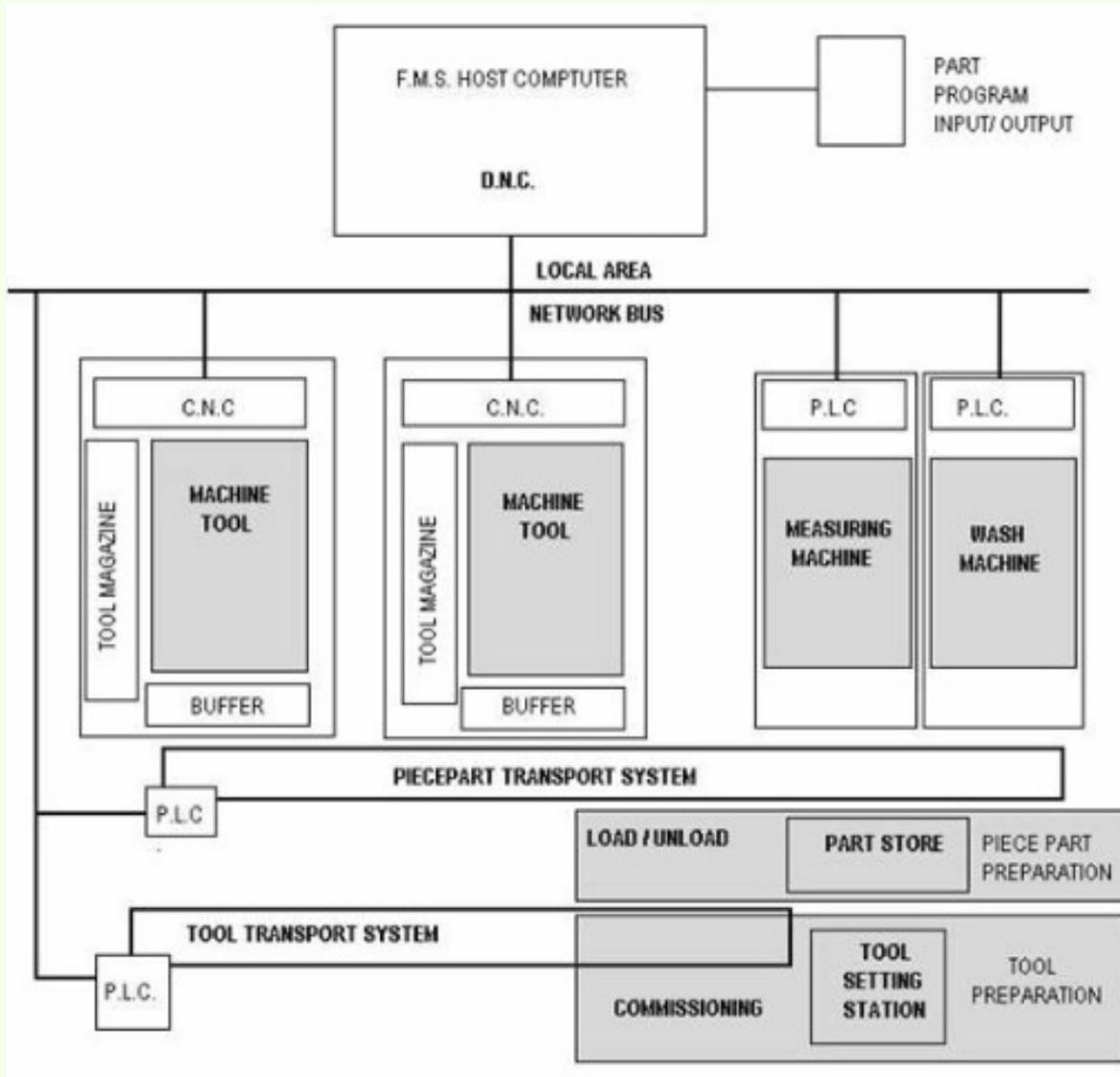


Uma célula flexível de manufatura com um armazenamento extensível para peças

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

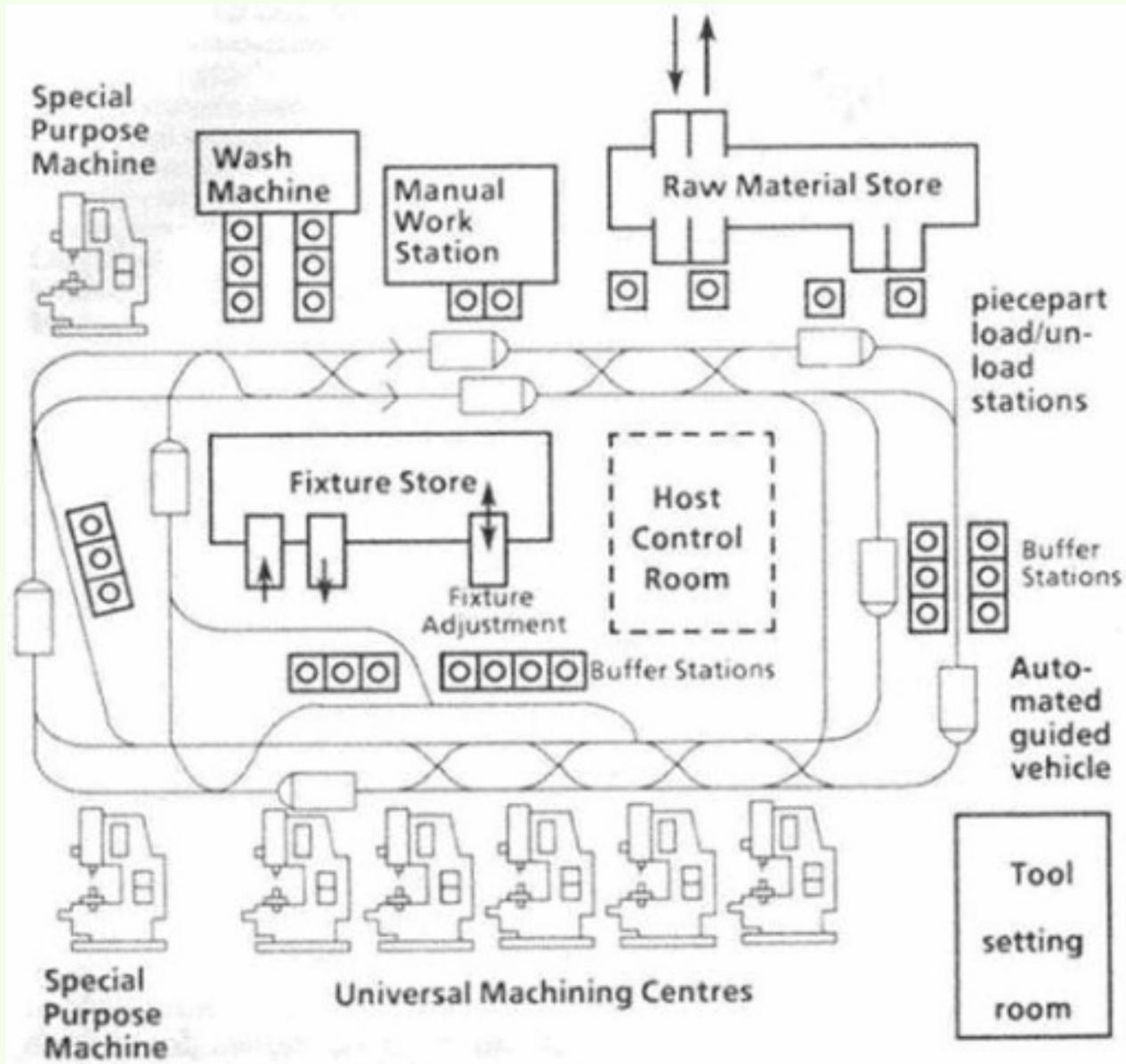
- ✦ FMSs → várias máquinas interligadas que usinam inúmeras peças simultaneamente em seqüência sem interrupções para troca de ferramentas → arranjo dos equipamentos de manufatura interligadas por um **sistema comum de controle e transporte**.
- ✦ Os equipamentos de manufatura podem ser **acessados aleatoriamente** (ver figuras).

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



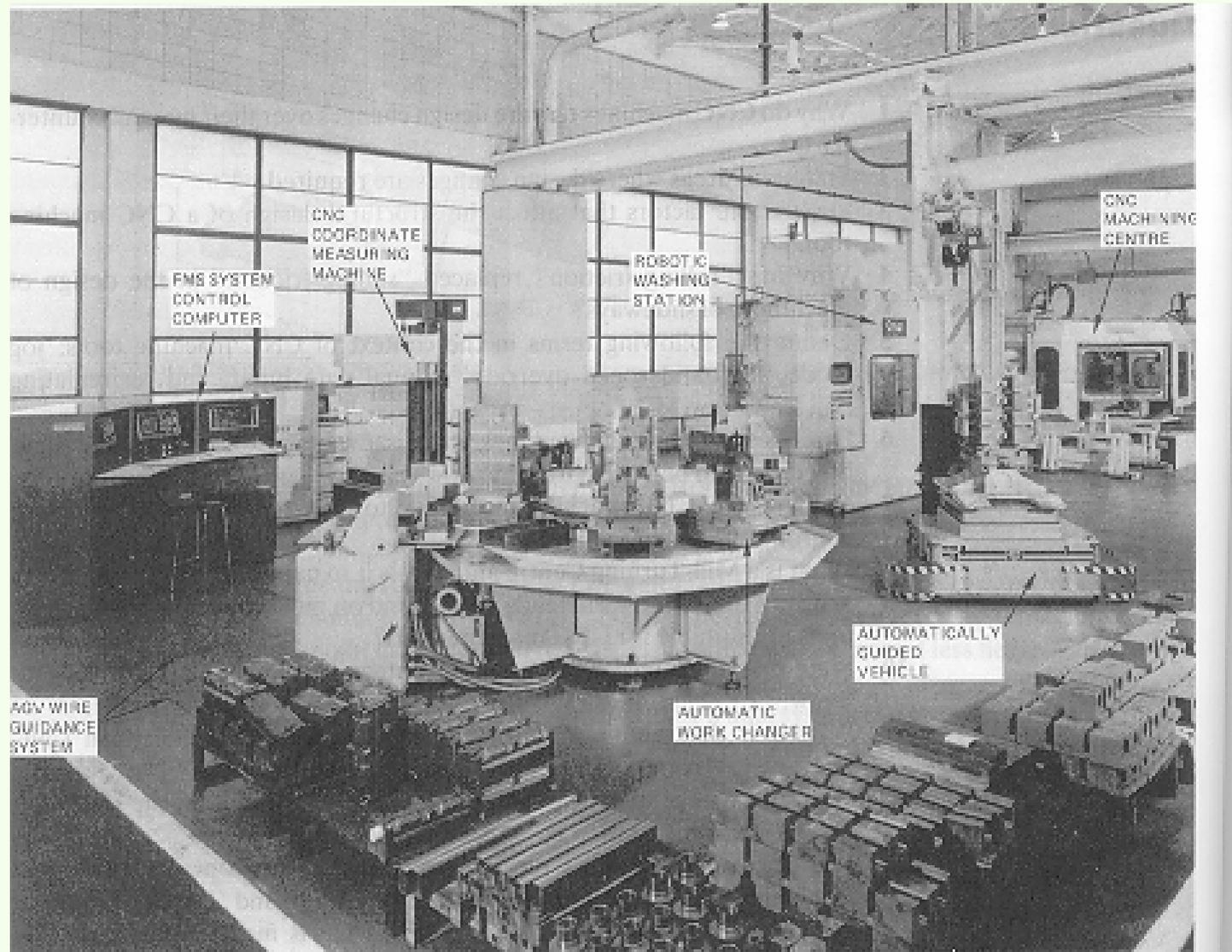
Um diagrama de blocos generalizado de um FMS

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



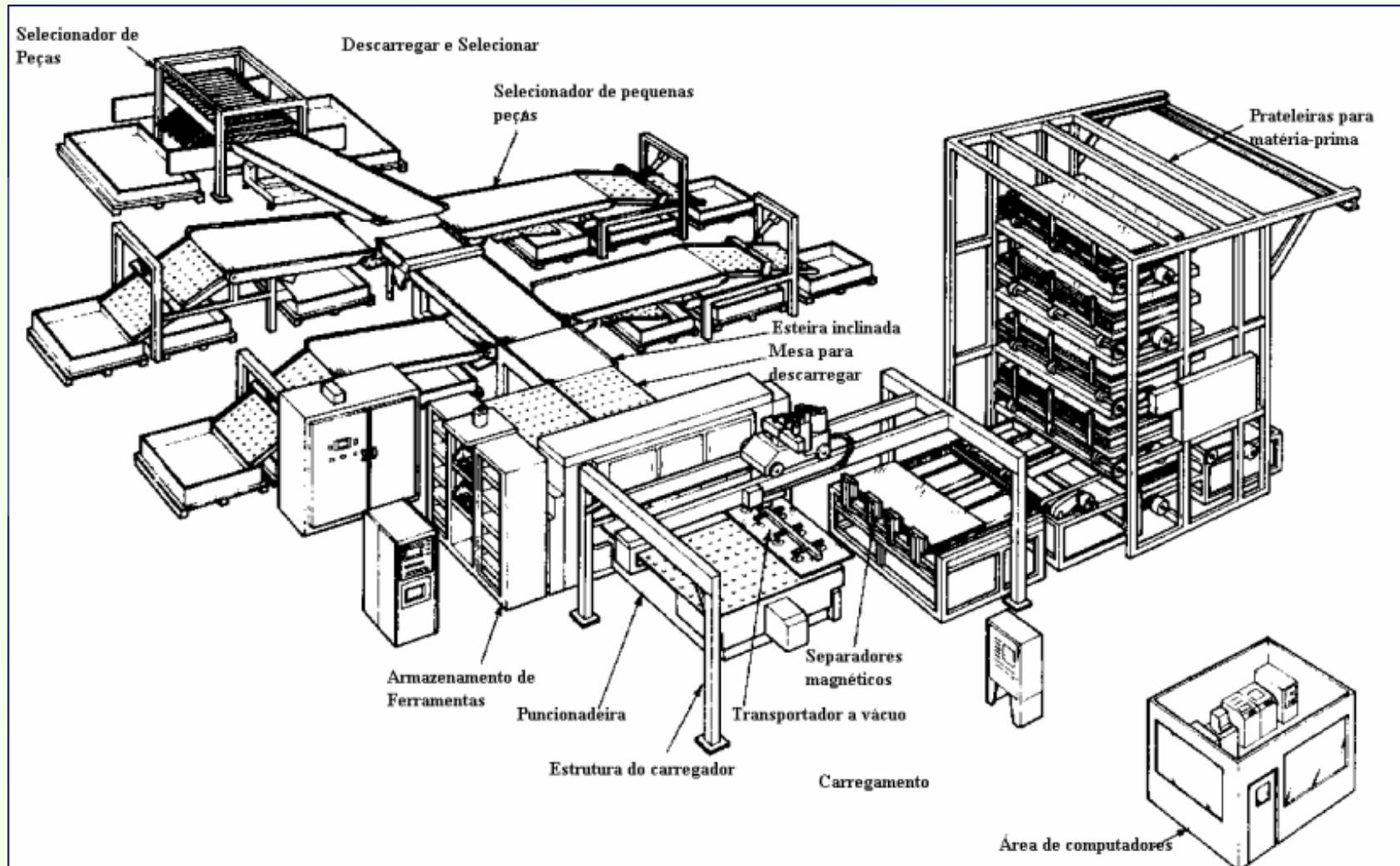
Um diagrama de blocos generalizado de um FMS

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



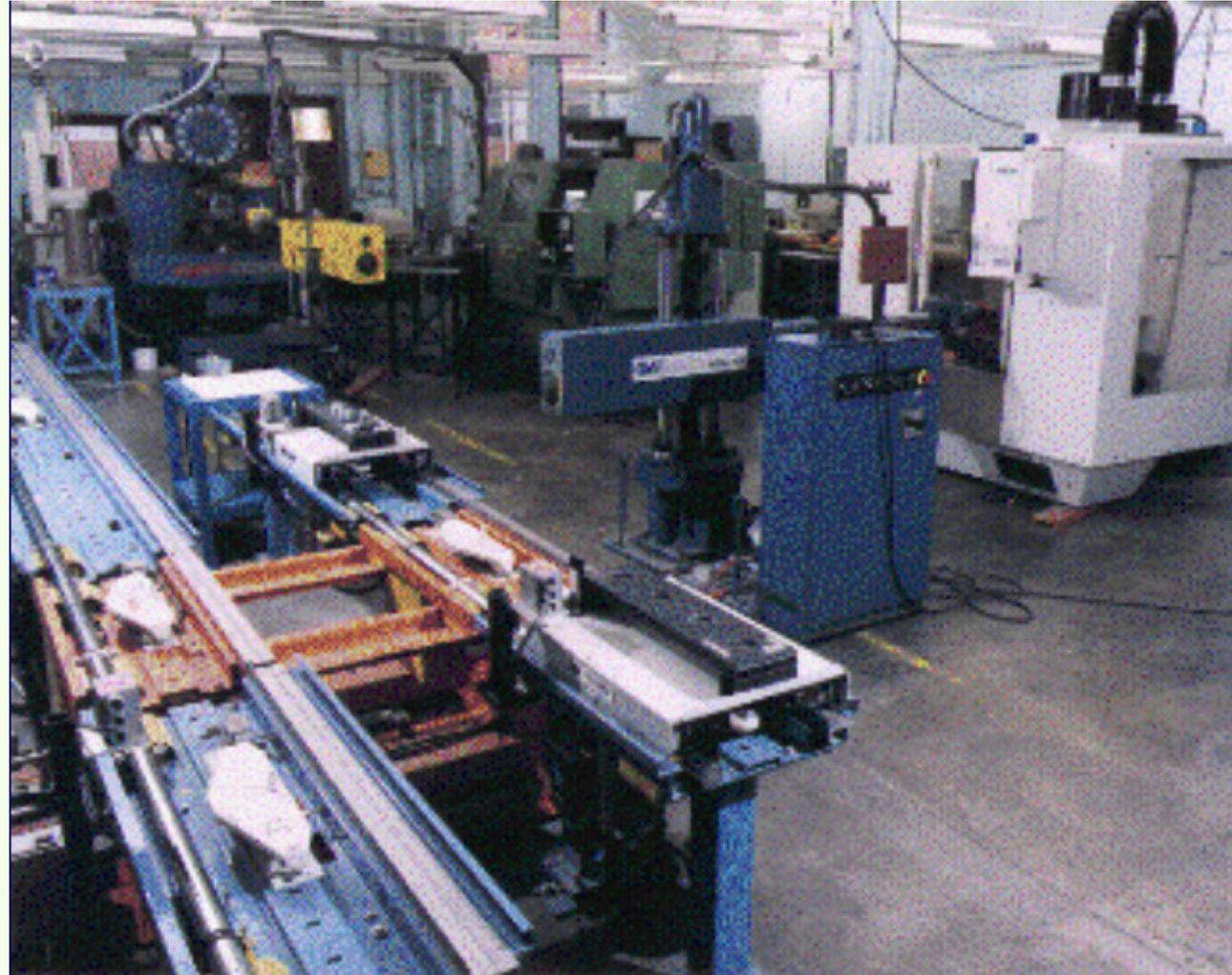
Um sistema flexível de manufatura

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



Um sistema flexível de manufatura para a fabricação de chapas

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



Sistema flexível de manufatura no CIMLab da Pennsylvania State University

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

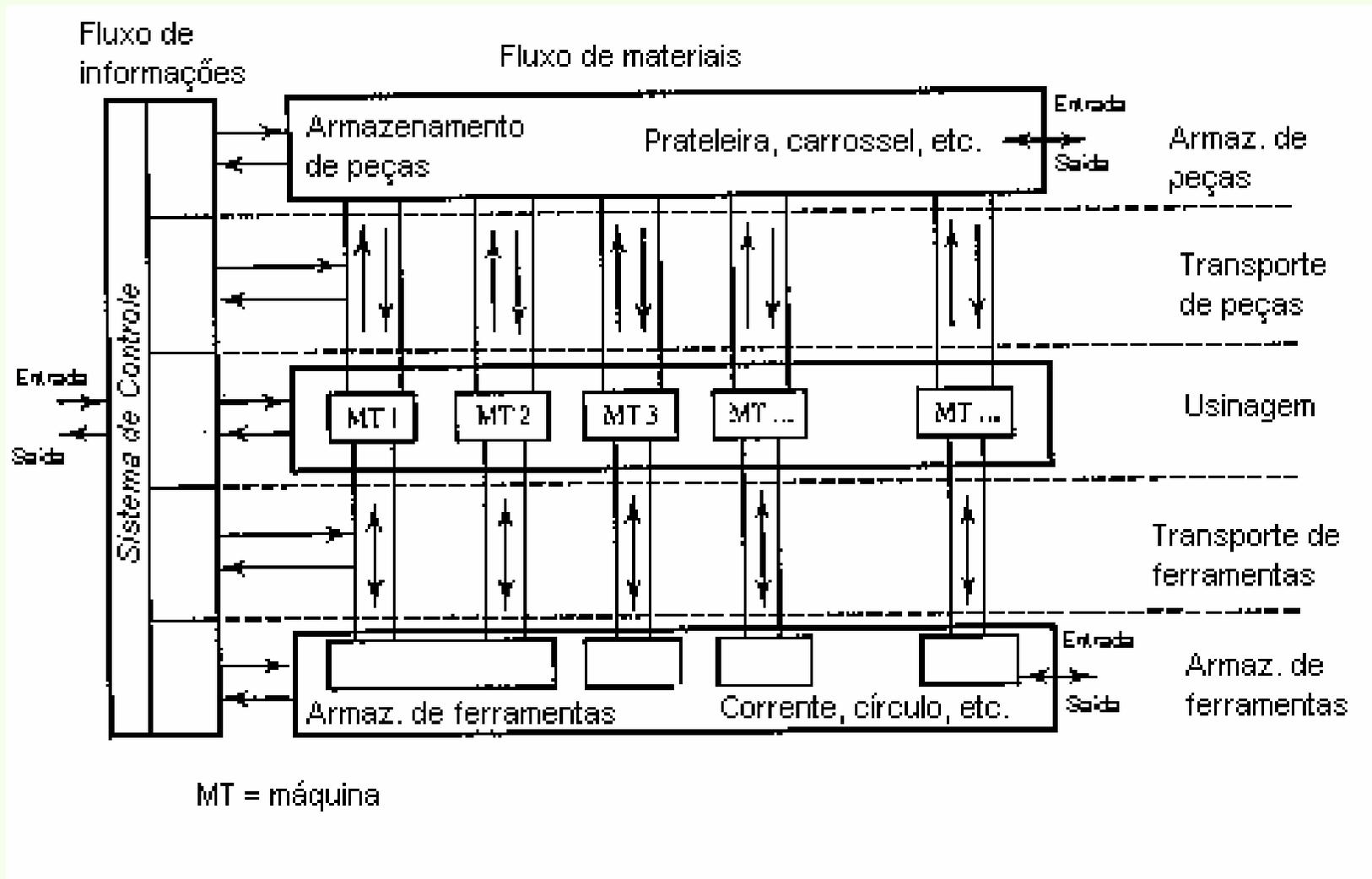


Sistema flexível de manufatura na Sociedade Educacional de Santa Catarina (SOCIESC)

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

- ✦ Próxima figura → **funções de um FMS.**
 - ✦ Fluxo de materiais → armazenamento e manuseio de peças e ferramentas.
 - ✦ Usinagem → máquinas no centro da figura.
 - ✦ Fluxo de informações + Sistema de controle → mostrados numa forma abstrata à esquerda.
 - ✦ Outros componentes possíveis de FMSs → estações de lavação, teste, máquinas de medição por coordenadas e equipamentos de descarte de cavaco.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



Funções de um FMS

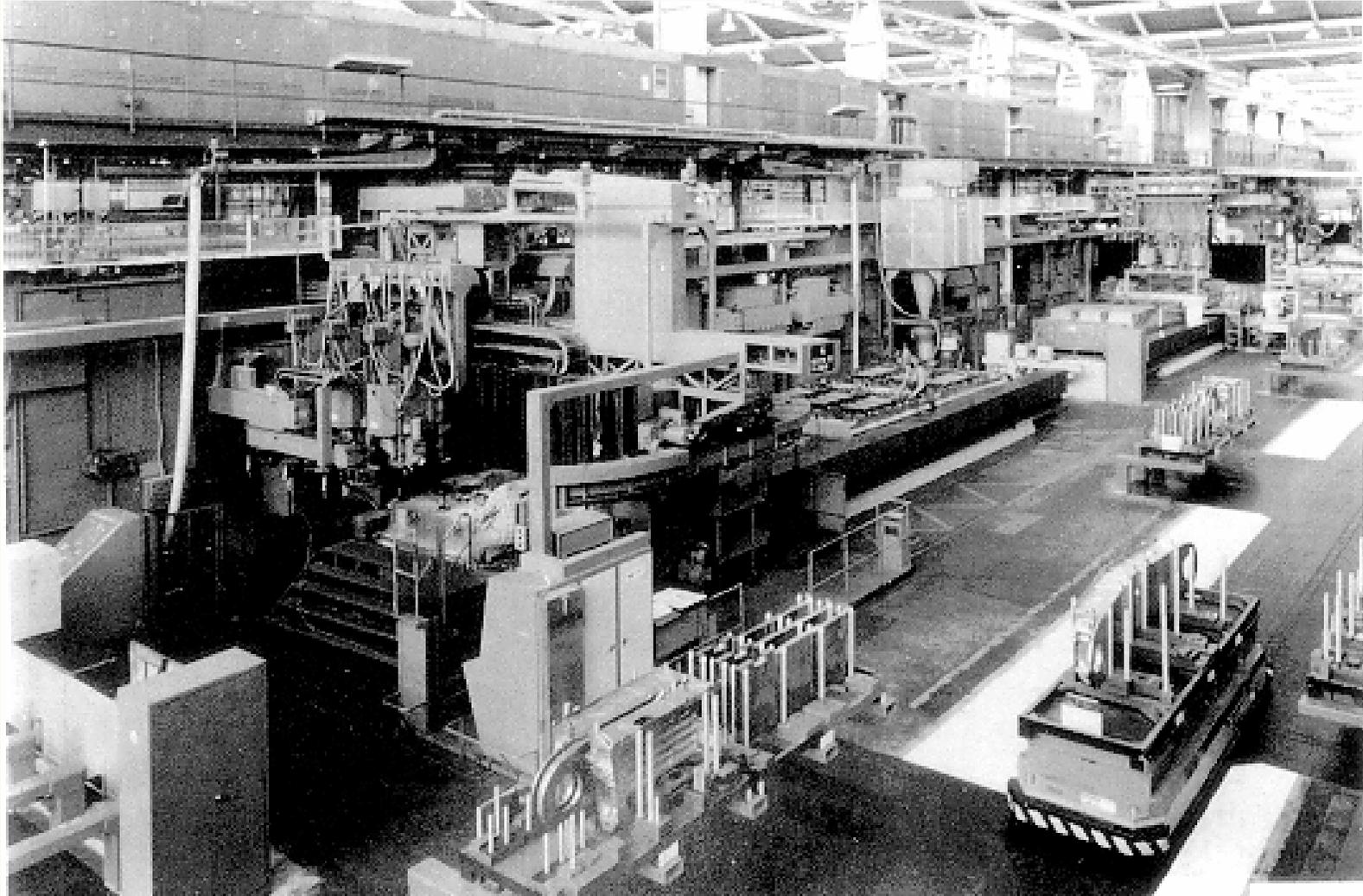
SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

- ✦ Num FMS → estrutura dos equipamentos de **transporte** e **armazenamento** é também influenciada pela natureza das peças (**rotacionais** ou **prismáticas**).
- ✦ Equipamentos de **transporte** podem ser usados para transportar tanto **peças** como **ferramentas**.
- ✦ Sistemas de suprimento de peças:
 - ✦ sistemas de transporte com ou sem trilhos,
 - ✦ do tipo pórtico,
 - ✦ elevados (acima da cabeça), incluindo manuseio indireto (com pallets) e direto.
- ✦ AGVs são muito confiáveis e são muito usados hoje em dia. Uma desvantagem destes é o **acesso reduzido aos equipamentos de manufatura**.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

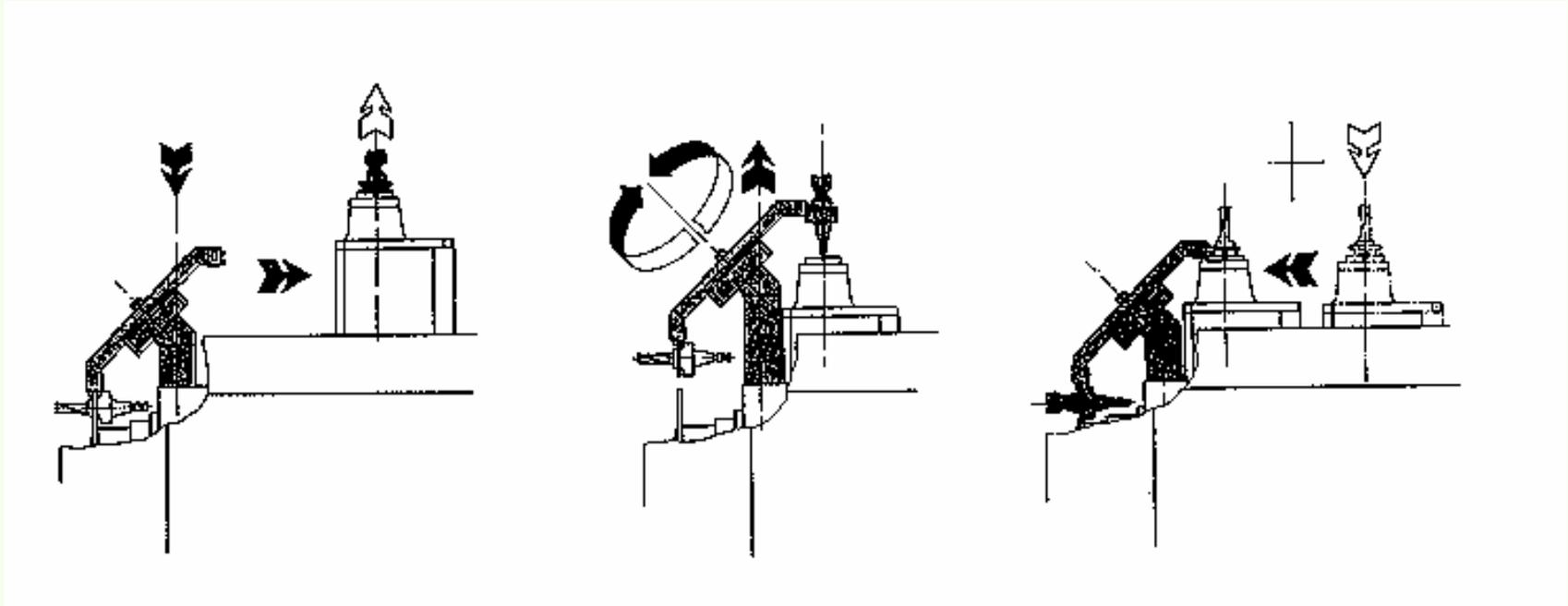
- ✦ FMSs → ocupam áreas ↑ & exigências de tempo são críticas → vantajoso o uso de **AGVs** → rotas de AGVs podem ser programadas.
- ✦ Próxima figura → AGVs usados na manufatura de **peças aeronáuticas** & tempos de usinagem ↑ → peças são fabricadas e colocadas em **buffers intermediários** → estes *buffers* comportam-se como **desacopladores** (*decouplers*), que desacoplam o tempo de transporte dos processos de usinagem.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



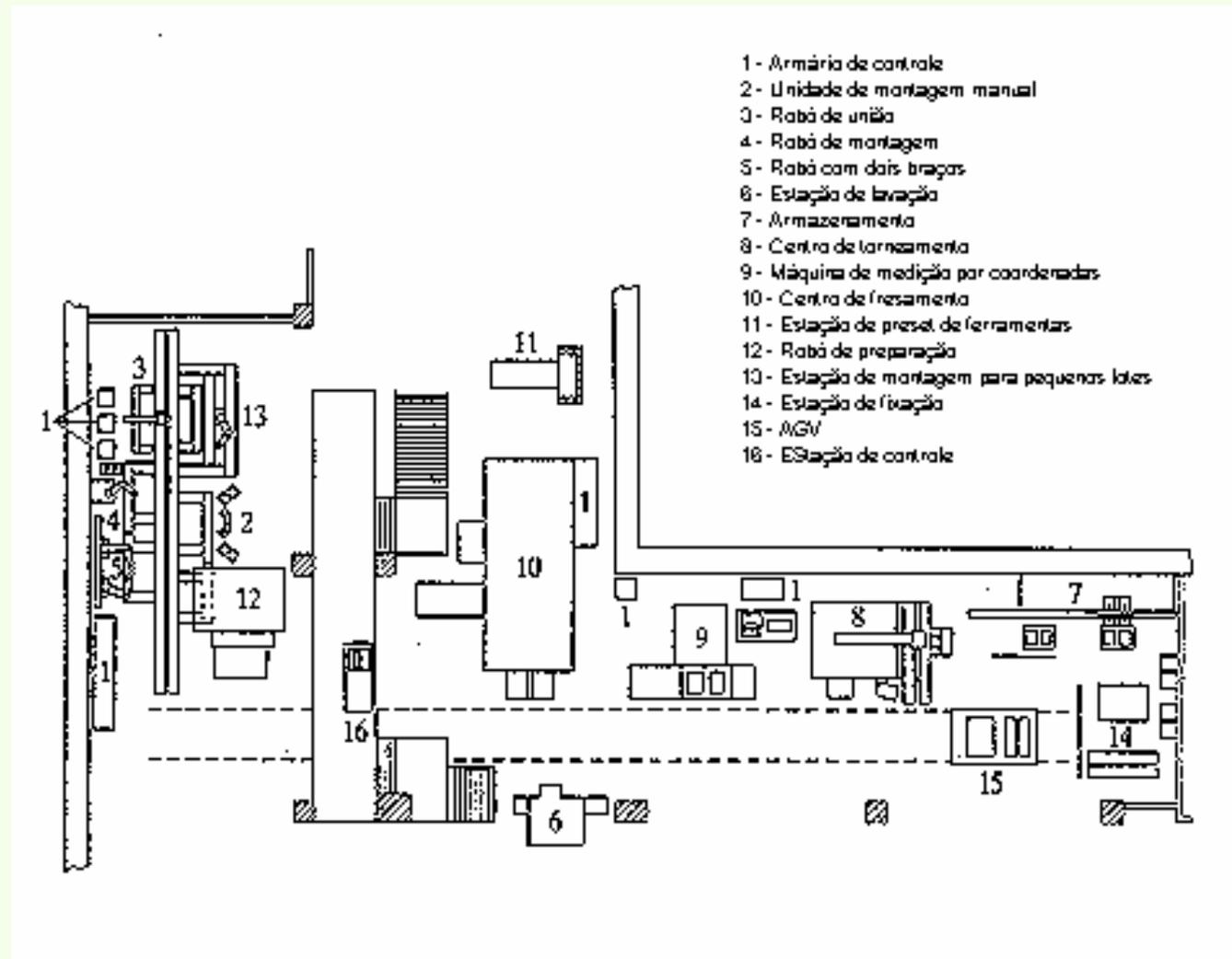
Um FMS para a produção de peças aeronáuticas

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



Um exemplo típico de troca rápida de ferramentas

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

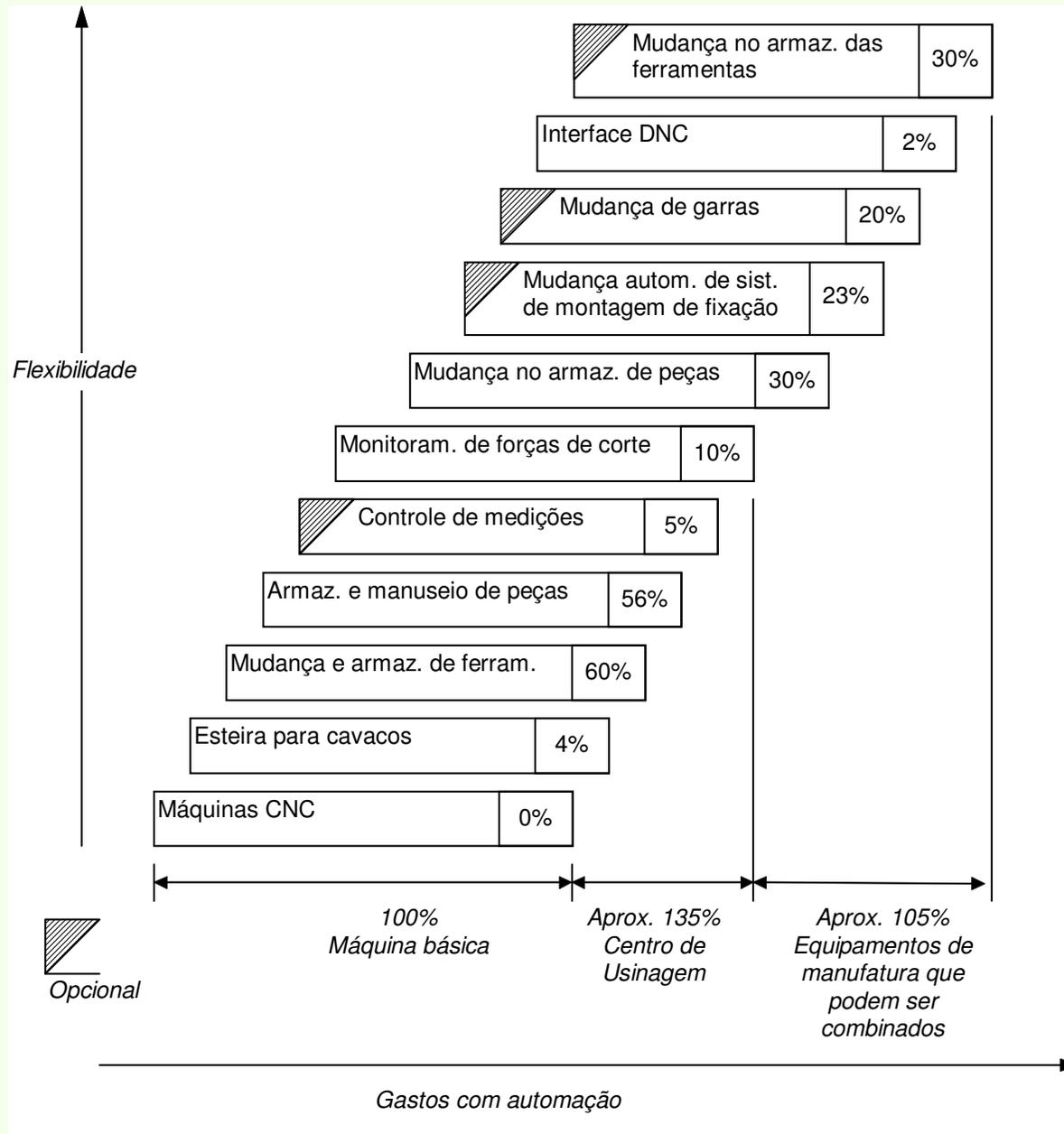


Layout de um FMS experimental na Universidade de Stuttgart

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

- ☀ Custo operacional horário de FMSs ↑ ↑ ↑ comparado com a manufatura convencional.
- ☀ Próxima figura → verificação da **flexibilidade** de um sistema de produção em relação aos **custos de automação** → aumento no custo das várias atividades devido à interligação de máquinas CNC é mostrado em porcentagem.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)



Os gastos para a automação flexível de operações de usinagem

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

- ✦ Planejamento de FMSs → pode ser resumido em:
 - seleção de peças apropriadas e sua adaptação aos propósitos da automação;
 - especificação do layout e das dimensões do fluxo de materiais e dos equipamentos de armazenamento;
 - especificação das funções e da estrutura de controle.

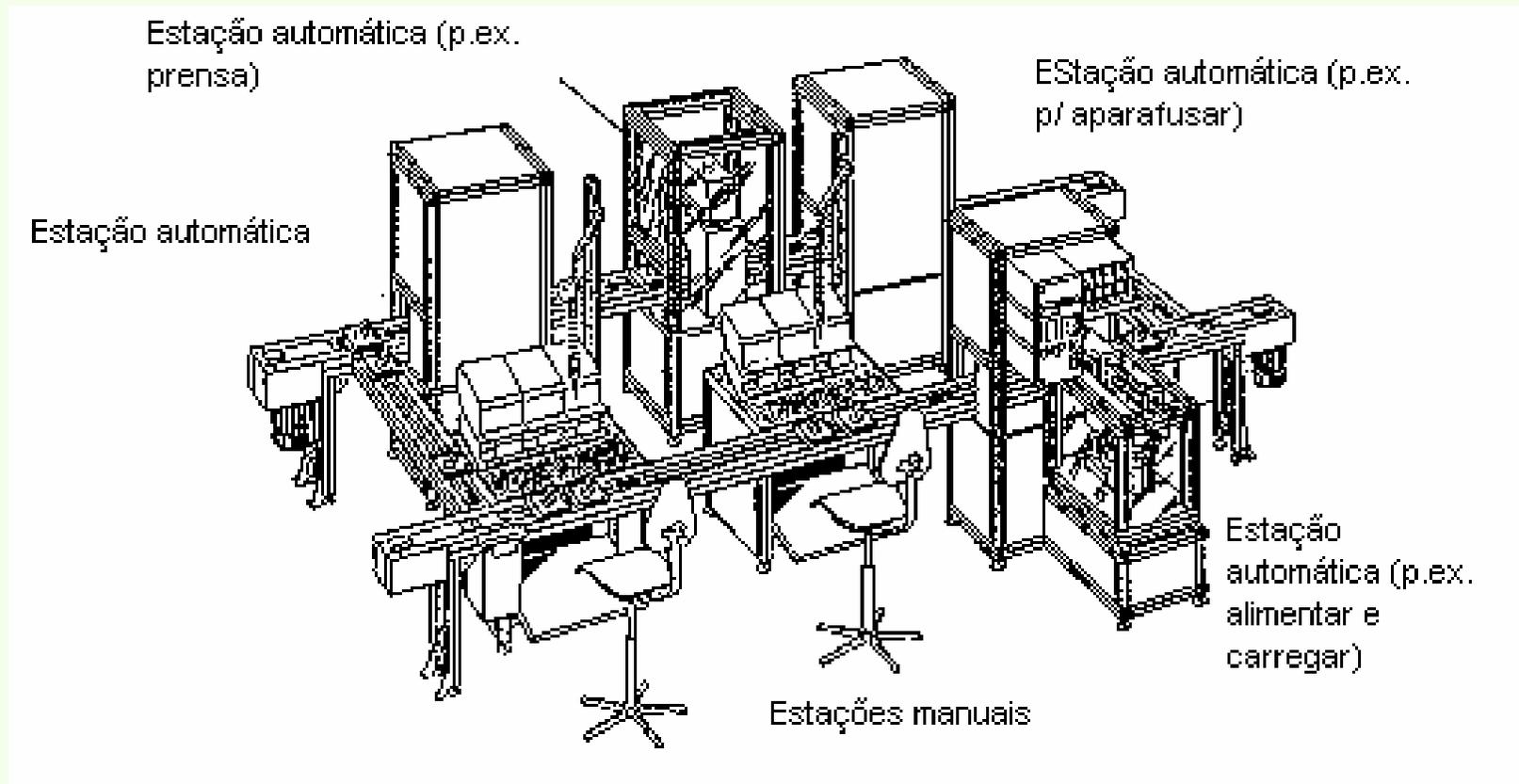
SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA (“FMSs”)

- ☀ Qualificações dos **operadores** e a introdução de constante **treinamento** são fundamentais → crucial para o uso econômico e bem sucedido de sistemas complexos de manufatura com elevada flexibilidade.
- ☀ **Motivação** das pessoas é de extrema importância.
- ☀ Medidas de **treinamento** são requeridas em várias áreas, dentre as quais se incluem:
 - tecnologia NC básica;
 - programação de máquinas NC;
 - organização e operação de um sistema de manufatura;
 - monitoramento e diagnóstico de manutenção.
 - redes de computadores.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MONTAGEM (“FASs”)

- ✦ Em FASs → diferentes tarefas de montagem devem ser executadas sobre **pequenos lotes**.
- ✦ Um grande número de desenvolvimentos relacionam-se à **montagem flexível**, com o objetivo de utilizar o potencial existente de automação.
- ✦ Próxima figura → **célula de montagem** que também contém estações manuais integradas → número total de **estações** nesta célula é pequeno & sistema de **transporte** não possui um *buffer* para pallets → **estações manuais** são ainda necessárias em sistemas de montagem porque **algumas tarefas de união não podem ser satisfatoriamente automatizadas**; a tecnologia requerida de sensores é frequentemente incapaz de satisfazer tarefas práticas.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MONTAGEM (“FASs”)

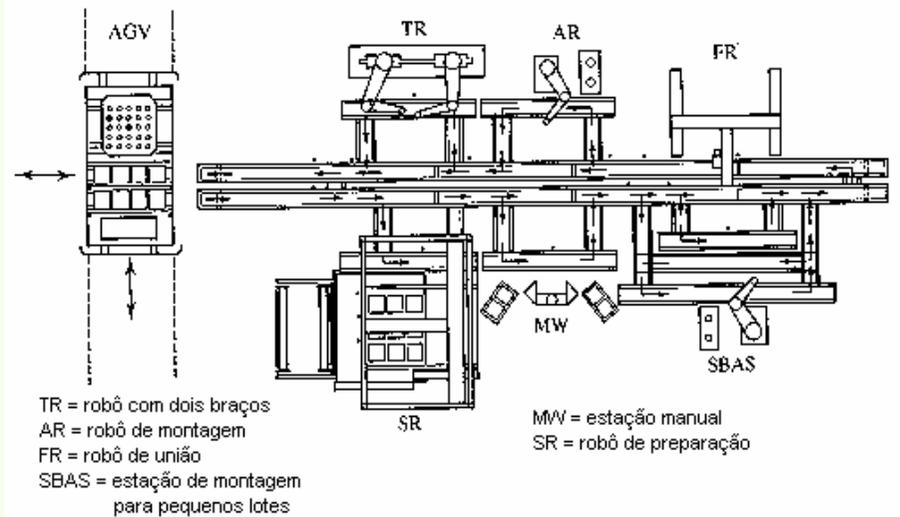
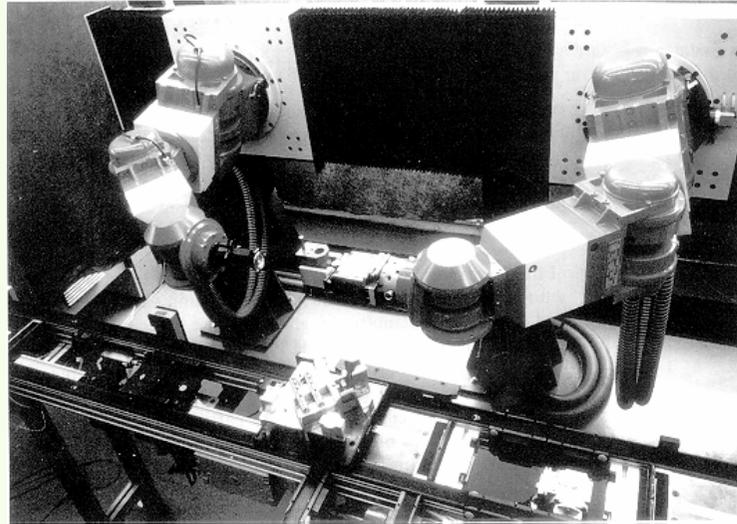


Um sistema de montagem semi-automático

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MONTAGEM (“FASs”)

- ✦ Próxima figura → possui um número maior de **estações automáticas** e também uma **estação manual**.
- ✦ Componentes individuais de montagem → ligados por uma **estrutura de fluxo de materiais**.
- ✦ Sistema de transporte → possui trilhos de transporte para **pallets** que funcionam como *buffers*.
- ✦ Tarefas de **usinagem** e **montagem** → coordenadas por um computador.
- ✦ Peças a serem montadas → passam através de estações individuais em **qualquer seqüência**.
- ✦ Uma **diversidade de produtos** podem ser montados simultaneamente.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MONTAGEM (“FASs”)



TR = robô com dois braços
AR = robô de montagem
FR = robô de união
SBAS = estação de montagem
para pequenos lotes

MW = estação manual
SR = robô de preparação

Layout da estação de uma estação de montagem

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MONTAGEM (“FASs”)

- ☀ O que foi mencionado até aqui sobre FMSs com relação ao planejamento e controle aplica-se a sistemas de montagem → Entretanto, com relação ao fluxo de materiais e à organização, existe um modo fundamentalmente diferente de olhar para o problema, isto porque a usinagem refere-se a peças individuais, enquanto na montagem pelo menos **2 peças são montadas num produto.**

CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

- ☀ Todo FMS deve ser **justificado economicamente**.
- ☀ Frequentemente → não é possível prever o **desenvolvimento futuro de tarefas de processamento**, e também as **peças que serão usinadas** (incluindo suas **quantidades**) → portanto, parâmetros adequados podem não estar disponíveis para uma avaliação econômica.
- ☀ Deve-se lembrar → manufatura em **turnos extras**, **redução de set-up** e **tempos de produção** → são fatores importantes para serem incluídos numa análise de **retorno de investimento**.

CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

- ✦ Próxima figura → análise comparativa da eficiência econômica de 2 sistemas diferentes que produzem o mesmo produto (**FMS X 12 máquinas individuais**).
- ✦ 5 critérios de objetivos: **a estrutura do sistema, o controle do sistema, o fluxo de peças e ferramentas, a organização da manufatura e a estratégia da empresa.**
- ✦ Para cada um desses critérios → subobjetivos são também ponderados em relação ao critério global.

CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

<i>Análise de eficiência econômica</i>						
<i>Crítérios de objetivos</i>	<i>Pesos</i>		<i>FFS 830-4 e FFS 800-4</i>		<i>12 Máquinas Individuais</i>	
	<i>Porção</i>	<i>Fator</i>	<i>Pontos</i>	<i>Eficiência Parcial</i>	<i>Pontos</i>	<i>Eficiência Parcial</i>
Estrutura do sistema:	15%					
• Alta flexibilidade com máquinas com as mesmas funções	30%	0,045	10	0,45	7	0,315
• Estensibilidade	30%	0,045	7	0,315	4	0,315
• Integração com outros processos (p.ex. lavação, rebarbação)	15%	0,0225	8	0,18	4	0,09
• Equipamentos centralizados no operador	25%	0,0375	8	0,3	3	0,1125
Controle do sistema:	15%					
• Hierarquia do controle	20%	0,03	8	0,24	4	0,12
• Possibilidade de integração com estruturas de CIM	15%	0,0225	8	0,18	3	0,0675
• Gerenciamento de dados de tarefas e ferramentas	15%	0,0225	9	0,2025	3	0,0675
• Gerenciamento de ferramentas	25%	0,0375	9	0,3375	3	0,1125
• Grau de prontidão	25%	0,0375	8	0,3	3	0,1125
Fluxo de peças e ferramentas:	15%					
• Automação do suprimento de peças	25%	0,0375	10	0,375	8	0,3
• Automação do suprimento de ferramentas	25%	0,0375	10	0,375	4	0,15
• Utilização do espaço de armazenamento de peças	10%	0,015	10	0,15	4	0,06
• Mudança de ferramentas em paralelo com o tempo de usinagem	25%	0,0375	8	0,3	2	0,075
• Mudança específica de uma ferramenta	15%	0,0225	10	0,225	3	0,0675
Organização da manufatura:	25%					
• Integração no sistema CAP mestre	25%	0,0625	8	0,5	5	0,3125
• Integração no sistema mestre de fluxo de materiais	25%	0,0625	8	0,5	6	0,375
• Execução orientada para a montagem, com manufatura simultânea de pequenos lotes	25%	0,0625	8	0,5	4	0,25
• Obediência a agendamentos	25%	0,0625	9	0,5625	6	0,375
Aspectos específicos da empresa:	30%					
• Tempos curtos de execução	20%	0,06	10	0,6	7	0,42
• Capital operacional baixo	20%	0,06	8	0,48	5	0,3
• Tempos curtos de entrega	20%	0,06	9	0,54	7	0,42
• Tecnologia orientada para o futuro	15%	0,045	10	0,45	5	0,225
• Flexibilidade a longo prazo em relação ao espectro de peças	15%	0,045	10	0,45	10	0,45
• Projeto ergonômico do lugar de trabalho	10%	0,03	9	0,27	5	0,15
Soma		1		8,78		5,2425
Eficiência Absoluta				87,8%		52,4%
Eficiência Relativa				100%		61,8%

Exemplo de uma análise econômica de FMSs

VÍDEOS

- ✦ Pallets para movimentação de peças pesadas
- ✦ Estação de lavação de peças
- ✦ Máquina para montagem de circuito impresso
- ✦ Montagem manual
- ✦ Linha de montagem 1
- ✦ Linha de montagem 2
- ✦ AGV
- ✦ Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMSs)
- ✦ FMS na SOCIESC - Joinville (SC)